



⑪ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Patentschrift**
⑬ DE 100 39 320 C2

⑭ Int. Cl.⁷:
B 22 F 9/08

DE 100 39 320 C2

⑮ Aktenzeichen: 100 39 320.9-24
 ⑯ Anmeldetag: 7. 8. 2000
 ⑰ Offenlegungstag: 7. 3. 2002
 ⑱ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 24. 12. 2003

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑲ Patentinhaber:

Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung
GmbH, 07745 Jena, DE

⑳ Vertreter:

Dr. Werner Geyer, Klaus Fehners & Partner, 07745
Jena

㉑ Erfinder:

Müller, Hartmut, Dr., 07749 Jena, DE; Neuhäuser,
Michael, 99425 Weimar, DE; Bliedtner, Jens, Dr.,
07745 Jena, DE

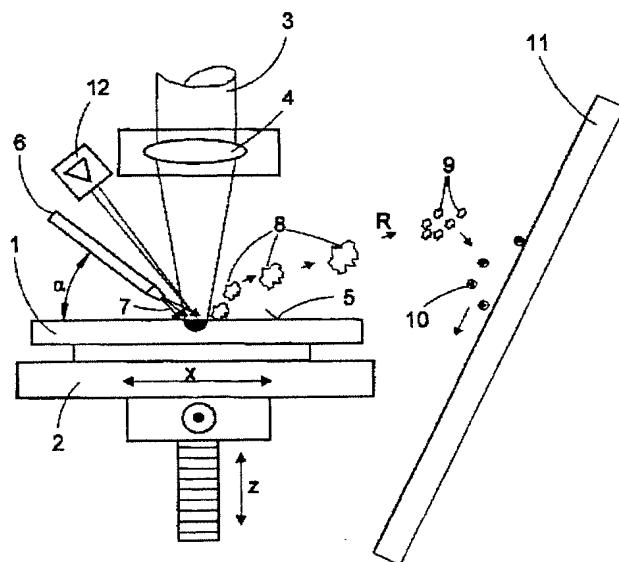
㉒ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE-PS 32 10 770 C2
 DE 196 03 196 A1
 DE 195 37 137 A1
 EP 03 00 543 A1
 WO 96/06 700 A2

"Pulvermetallurgie und Verbundstoffe",
Jahresbericht 1999, FhG Fertigungstechnik und
Materialforschung, S. 34/35;

㉓ Verfahren zur Herstellung von Hohlkugeln

㉔ Verfahren zur Herstellung von Hohlkugeln aus einem schmelzbaren Material, bei dem
 – das in einer Ausgangsform vorliegende schmelzbare Material an einem Oberflächenbereich bis über seine Schmelztemperatur hinaus erwärmt wird,
 – mit einem auf diesen Oberflächenbereich gerichteten Gasstrom (7) eine Vielzahl von geschmolzenen Materialpartikeln (8, 9) ausgetrieben wird,
 – die sich von dem Oberflächenbereich entfernenden Materialpartikel (8, 9) mit einem Medium in Kontakt gebracht werden, das eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur des Materials aufweist und dadurch die Temperatur der Materialpartikel (8, 9) schnell abgesenkt wird,
 – mit der schnellen Temperaturabsenkung die Oberflächenspannung der Materialpartikel (8, 9) so verändert wird, daß diese sich zu Hohlkugeln (10) formen und dabei Teile des Mediums in ihr Inneres einschließen.



DE 100 39 320 C2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung von aus einem schmelzbaren Material bestehenden Hohlkugel, bevorzugt zur Herstellung von Hohlkugeln mit Durchmessern $D \leq 1$ mm, wobei das schmelzbare Material in nahezu beliebiger Ausgangsform vorliegen kann. Gegenstand der Erfindung ist weiterhin eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Hohlkugeln geringer Größe bilden in vielfältigen industriellen Anwendungen zunehmend die Grundlage zur Herstellung hochporöser metallischer Werkstoffe. Derartige Werkstoffe zeichnen sich, wie in "Pulvermetallurgie und Verbundwerkstoffe", Jahresbericht 1999, Fraunhoferinstitut "Fertigungstechnik und Materialforschung", Seiten 34/35 beschrieben, durch Eigenschaften aus, die mit anderen Materialien kaum erreicht werden können, vor allem im Hinblick auf Leichtigkeit, Festigkeit, elektrische Leitfähigkeit, Temperaturbeständigkeit und ein durch den Porengehalt stark vermindertes Wärmeleitvermögen. Somit ergibt sich für die Entwicklung von Strukturen unter Verwendung solcher Hohlkugeln ein breites Anwendungsspektrum, das von der Schall- und Wärmedämmung in heißen Umgebungen über schwingungsdämpfende Gehäusebauteile bis zu einem anspruchsvollen Leichtbau reicht.

[0003] Die Mängel, die bisher dazu geführt haben, daß derartige Werkstoffe noch keine praktische Relevanz erlangt haben, bestehen in fehlenden bzw. uneffizienten Verfahren zur Herstellung metallischer Hohlkugeln mit Durchmessern von einem Millimeter und darunter.

[0004] In EP 0 300 543 A1 ist ein Verfahren zum Herstellen von metallischen oder keramischen Hohlkugeln beschrieben, bei dem vorgesehen ist, auf im wesentlichen kugelförmige Teilchen aus geschäumtem Polymer eine Feststoffschicht aufzubringen. Dazu werden die Teilchen unter Bewegung mit einer wäfigrigen Suspension behandelt, die gelöstes oder suspendiertes Bindemittel und metallische und/oder keramische Pulverteilchen enthält. Dann werden die beschichteten und getrockneten Teilchen unter Bewegung pyrolysiert und gesintert. Nachteilig an diesem Verfahren ist die erforderliche Vielzahl Zeit- und energieaufwender Verfahrensschritte, so daß auf diese Weise eine wirtschaftliche Massenfertigung kleiner Hohlkugeln nicht möglich ist.

[0005] In DE 195 37 137 A1 sind ein Kompositwerkstoff sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung beschrieben. Der Kompositwerkstoff besteht aus einer Metallmatrix mit eingebetteten Hohlkugeln, und dem Verfahren zur Herstellung des Kompositwerkstoffes liegt eine elektrolytische Metallabscheidung zugrunde, wobei die Hohlkugeln einem Elektrolytbad zugesetzt werden. Bevorzugt betrifft das Hohlkugeln aus Borosilikatglas.

[0006] In DB 196 03 196 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung von anorganischen Hohlkugeln mit einer Kugelkorngröße im Bereich von 0,5 bis 1 mm angegeben. Dabei werden das Ausgangspulver aus porösen Primärpartikeln, porösen Agglomeraten oder porösen Aggregaten in einen Spritzstrahl eingebracht, an- bzw. aufgeschmolzen und schließlich in einer Auffangvorrichtung abgekühlt. Zum An- bzw. Aufschmelzen der Ausgangspulver werden konventionelle Brenner zum thermischen Spritzen, wie sie beispielsweise in der Plasmaspritztechnik verwendet werden, und auch Sonderspritzgeräte, wie z. B. Langlichtbogenbrenner, genutzt. Das hier vorgeschlagene Verfahren ist zur Herstellung von Hohlkugeln aus allen anorganischen Materialien geeignet, die sich vor dem Schmelzen nicht zersetzen, wie zum Beispiel Metalle, Legierungen, Oxide, Silikate, Poride, Karbide usw. Auch hier sind nachteiligerweise zeitaufwendige

Verfahrensschritte erforderlich.

[0007] Ein weiteres Verfahren ist noch aus DE-PS 32 10 770 bekannt. Diese ist zur Herstellung von metallischen, im wesentlichen kugelförmigen Leichtkörperteilchen geeignet ist. Hierbei werden Schaumstoffteilchen, z. B. aus expandierendem Polystyrol, stromlos mit Kupfer, Silber oder Nickel metallisiert und die Kunststoffkerne pyrolytisch bei Temperaturen von etwa 400°C zersetzt. Auf diese Weise entstehen metallische Hohlkörper mit Wandungen, die elektrochemisch bis auf Dicken von 0,05 mm verstärkt werden können. Auch dieses Verfahren ist hinsichtlich einer Massenfertigung von Hohlkugeln nicht effektiv.

[0008] Davon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzuentwickeln, daß in wesentlich kürzeren Zeitschritten die Herstellung einer Vielzahl von Hohlkugeln möglich ist.

[0009] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. durch eine Anordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 13.

[0010] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß das in einer beliebigen Ausgangsform vorliegende schmelzbare Material an einem Oberflächenbereich bis über seine Schmelztemperatur hinaus erwärmt wird, mit einem auf diesen Oberflächenbereich gerichteten Gasstrom eine Vielzahl von geschmolzenen Materialpartikeln ausgetrieben wird und die sich von dem Oberflächenbereich entfernenden Materialpartikel mit einem Medium in Kontakt gebracht werden, das eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur des Materials aufweist. Dabei ist vorteilhaft vorgesehen, daß die zur Erwärmung bis über die Schmelztemperatur erforderliche Energie mit Hilfe von Laserstrahlung in das Material eingebracht wird.

[0011] Aufgrund der hohen kinetischen Energie der Schmelze sowie durch Unterstützung des Gasstromes werden die Materialpartikel sehr schnell aus dem Bereich des aufgeschmolzenen Materials ausgetrieben, wonach die Materialpartikel dann sofort mit der kälteren Umgebung in Kontakt kommen. Dabei ändert sich die Oberflächenspannung bei den Materialpartikeln so, daß die Hohlkugelformen entstehen.

[0012] Mit diesem Verfahren läßt sich eine sehr große Zahl solcher kleinen Hohlkugeln mit Durchmessern unter 1 mm in wesentlich kürzerer Zeit herstellen, als dies nach dem Stand der Technik bisher möglich war. Die Entstehungszeit der Hohlkugeln liegt dabei im Millisekundenbereich. Ofenprozesse oder auch umweltbedenkliche chemische Verfahrensschritte, bei denen schädliche Dämpfe entstehen, sind nicht erforderlich.

[0013] Ein weiterer wesentlicher Vorteil besteht darin, daß nach dem erfundungsgemäßen Verfahren Hohlkugeln aus den verschiedenartigsten schmelzbaren Werkstoffen hergestellt werden können. Außerdem ist es möglich, die Durchmesser der entstehenden Hohlkugeln beispielsweise durch Variation der Laserleistung oder der Strömungsgeschwindigkeit des zur Unterstützung des Austreibens der Materialpartikel verwendeten Gases zu variieren.

[0014] Mit der Vorgabe unterschiedlicher Umgebungstemperaturen läßt sich in diversen Ausgestaltungen der Erfindung die Abkühlgeschwindigkeit der Hohlkugeln beeinflussen; damit ist es möglich, auf die Beibehaltung oder Veränderung der Eigenschaften des Ausgangsmaterials während der Entstehung der Hohlkugeln Einfluß zu nehmen, so beispielsweise auf Gefügeeigenschaften, Festigkeit und Härte, magnetische Eigenschaften usw. Die Abhängigkeiten zwischen der Abkühlgeschwindigkeit z. B. von geschmolzenem Stahl und den Materialeigenschaften des Stahles sind aus der Metallurgie hinreichend bekannt und müssen deshalb hier nicht ausführlich erläutert werden.

[0015] Auch die Wandstärken der Hohlkugeln sind mit der Wahl der Laserstrahlungsquelle, den Laserstrahlungsparametern sowie weiteren Prozeßgrößen wie Umgebungs temperatur, Ausgangsmaterial usw. beeinflußbar. Die Modifikation dieser Parameter kann problemlos während des Herstellungsprozesses verändert werden, so daß bei laufendem Verfahren unterschiedliche Kugelarten bzw. -größen erzeugbar sind.

[0016] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltungsvariante kann vorgesehen sein, daß das Material mit einer gesonderten Wärmequelle vorgewärmt wird, indem beispielsweise in dem zu erwärmenden Oberflächenbereich eine Temperatur dicht unterhalb der Schmelztemperatur des Materials, bevorzugt bei etwa dem 0,8- bis 0,95-fachen der Schmelztemperatur, erzielt wird. In diese Vorwärmung kann das gesamte vorbereitet. Ausgangsmaterial einbezogen werden, jedoch ist es auch möglich, lediglich eine Zone um den aufzuschmelzenden Oberflächenbereich.

[0017] Die Vorwärmung hat den Vorteil, daß mit der auf den schon vorgewärmten Oberflächenbereich gerichteten Laserstrahlung wesentlich schneller die Schmelztemperatur erreicht wird und so das Austreiben der Materialpartikel wirkungsvoller erfolgt. Als Wärmequelle kann vorteilhaft ein Plasmabrenner mit einem auf den Oberflächenbereich gerichteten Plasmastrahl vorgesehen sein.

[0018] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung werden die sich von dem Oberflächenbereich entfernenden Materialpartikel mit Luft der freien Atmosphäre in Kontakt gebracht, wodurch die Abkühlung der Materialpartikel und infolgedessen deren Formung zu Hohlkugeln bewirkt und wobei eine entsprechende Menge Luft in das Innere einer jeden Hohlkugel eingeschlossen wird.

[0019] So ist es zum Beispiel vorteilhaft möglich, als Ausgangsmaterial Stahl mit einer Schmelztemperatur zu verwenden, die bei ca. 1.540°C liegt. Unter Anwendung der erfundungsgemäßen Verfahrensschritte ist so die Massenfertigung kleiner mit Luft gefüllter Stahlkugeln bei sehr geringem Zeitaufwand möglich. Es kommen hierfür sowohl legierte, unlegierte als auch Stähle mit hohem Kohlenstoffgehalt in Betracht.

[0020] Es ergeben sich für die mit eingeschlossener Luft versehenen Hohlkugeln Quantitäts- und Qualitätsmerkmale, welche die besten Voraussetzungen zur Verwendung bei der Entwicklung und Herstellung thermischer Isoliermaterialien bieten.

[0021] Abweichend davon ist es bei alternativen Ausgestaltungen des erfundungsgemäßen Verfahrens auch möglich, die sich von dem Oberflächenbereich entfernenden Materialpartikel anstatt mit Luft der freien Atmosphäre beispielsweise mit einem Inertgas, etwa Stickstoff, in Kontakt zu bringen. Treten die ausgetriebenen Materialpartikel mit diesem Gas in Kontakt, erfolgt ebenfalls die Abkühlung und die Umformung zu Hohlkugeln, wobei eine entsprechende Menge des Inertgases in das Innere einer jeden Hohlkugel eingeschlossen wird. Auf diese Weise können beispielsweise korrosionshemmende Eigenschaften oder auch verbesserte Wärmedämmegenschaften erzielt werden.

[0022] In einer weiteren alternativen Ausgestaltung ist es denkbar, daß die sich von dem Oberflächenbereich entfernenden Materialpartikel mit einer Flüssigkeit oder einer Emulsion in Kontakt gebracht werden. Liegt die Temperatur der Flüssigkeit bzw. der Emulsion im entsprechenden Bereich unterhalb der Schmelztemperatur des Ausgangsmaterials, erfolgt hier ebenfalls wie vorbeschrieben die Umformung der Materialpartikel zu Hohlkugeln, wobei in diesem Falle eine entsprechende Menge der Flüssigkeit bzw. der Emulsion in das Innere einer jeden Hohlkugel eingeschlossen wird. Nach diesem Verfahren lassen sich beispielsweise

Lötzinn als Ausgangsmaterial und ein Lotflußmittel miteinander in der Weise verbinden, daß bei der Formung zu Hohlkugeln der Innenraum einer jeden Hohlkugel mit dem Lotflußmittel ausgefüllt ist. Die so entstehenden "Löt kugeln" lassen sich bevorzugt bei automatischen Lötprozessen verwenden.

[0023] Weiterhin ist es denkbar, das erfundungsgemäße Verfahren so auszustalten, daß die bereits zu Hohlkugeln geformten und mit jeweils dem vorgesehenen Medium (Gas, Flüssigkeit, Emulsion) gefüllten Hohlkugeln in einem weiteren Verfahrensschritt mit einer zusätzlichen Substanz, beispielsweise einem Pulver oder Gas, in Kontakt gebracht werden.

[0024] Auf diese Weise wird erreicht, daß sich Teilchen dieser Substanz auf der Hohlkugeloberfläche absetzen und dort eine Beschichtung bilden. Als eine solche Substanz zur Beschichtung der Hohlkugeloberfläche kann beispielsweise Stellipulver verwendet werden.

[0025] Nach dem erfundungsgemäßen Verfahren lassen sich demzufolge kugelförmige Körper in der Größenordnung < 1 mm herstellen, die aus mindestens drei Materialarten bestehen, wobei eine der Materialarten im Innern eingeschlossen ist, das Ausgangsmaterial die kugelförmige feste Hülle bildet und auf der Oberfläche eine oder auch mehrere übereinander liegende Materialschichten, je nach Anzahl der diesbezüglichen Verfahrensschritte, abgesetzt sind.

[0026] Auch ist es denkbar, die Ausführung der Verfahrensschritte zeitlich zu trennen, indem zunächst in der vorbeschriebenen Weise die Hohlkugeln ohne Beschichtung hergestellt und in weiteren in zeitlichen Abständen folgenden Verfahrensschritten die Hohlkugeln an ihrer Oberfläche beschichtet werden.

[0027] Die Erfindung bezieht sich weiterhin auf eine Anordnung zur Durchführung der vorgenannten Verfahrensschritte, umfassend eine Laserstrahlungsquelle, von der ein gebündelter Laserstrahl unter einem Winkel β auf einen Oberflächenbereich des in einer beliebigen Ausgangsform vorliegenden Materials gerichtet ist; eine mit einem Gebläse verbundene Düse, von der ein Gasstrom unter einem Winkel

α auf den Oberflächenbereich gerichtet ist und eine Bedien- und Ansteuereinrichtung zur Vorwahl und zur Einstellung von Betriebsparametern, wie Wellenlänge und Intensität des Laserstrahles, Geschwindigkeit des Gasstromes und andere.

[0028] Bevorzugt kann als Laserstrahlungsquelle ein CO₂-Laser mit einer Leistung von etwa 1500 Watt und als Ausgangsmaterial unlegierter Stahl mit einer Schmelztemperatur bei 1535°C vorgesehen sein. Mittels einer Düse, die einen Öffnungsdurchmesser von etwa 1,7 mm aufweist und die mit einem unter einem Druck von etwa 3 bar stehenden Druckluftbehälter in Verbindung steht, kann Luft unter einem Winkel $\alpha \approx 47^\circ$ auf den Auftreffort des Laserfokus gerichtet sein.

[0029] In vorteilhaften Ausgestaltungen der erfundungsgemäßen Anordnung können Einrichtungen zur Veränderung der Winkel α und/oder β während des Herstellungsprozesses vorgesehen sein, wodurch der Herstellungsprozeß auf ein Optimum konfigurierbar ist. Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn das Ausgangsmaterial relativ zum Auftreffort des Laserstrahlfokus und des Gasstromes auf die Materialoberfläche kontinuierlich verschoben wird, womit die fortlaufende Herstellung der Hohlkugeln möglich ist. Zu diesem Zweck sollte das Material beispielsweise auf einen Tisch aufgelegt sein, der mit einer Zustelleinrichtung in Verbindung steht.

[0030] Weiterhin kann die Anordnung von einer Schutzkammer umgeben sein, die den Oberflächenbereich umschließt, der aufgeschmolzen werden soll, wobei dieser hermetisch von der freien Atmosphäre getrennt ist. Mit einer solchen Anordnung ist es möglich, Hohlkugeln herzustellen,

deren Inneres mit einem Inertgas gefüllt ist, sofern sich das Inertgas innerhalb der Schutzkammer befindet.

[0031] Im Rahmen der Erfindung liegt es weiterhin, Einrichtungen zum Auffangen, Sammeln und Sortieren der entstehenden Hohlkugeln nach der Größe vorzusehen. So können zum Auffangen Aufprallbleche vorhanden sein, die vor teilhaft noch mit einem Gleitmittel, bevorzugt mit Öl, beschichtet sind und die mit Sammelbehältern für die aufprallenden und abgleitenden Hohlkugeln in Verbindung stehen. Bei entsprechender Neigung der Aufprallbleche folgen die Hohlkugeln der Schwerkraft und können so in die Sammelbehälter gelangen, die in Schwerkraftrichtung aufgestellt sind.

[0032] Den Sammelbehältern kann eine Sortiereinrichtung, die beispielsweise aus Rüttelsieben mit unterschiedlichen Durchlaßöffnungen besteht, vorgeordnet sein, so daß hiermit sofort nach der Herstellung eine Selektion der Hohlkugeln nach ihrer Größe vorgenommen wird.

[0033] Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

[0034] Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau einer Anordnung zur Durchführung des erfundungsgemäßen Verfahrens in einer ersten Ausgestaltungsvariante,

[0035] Fig. 2 den prinzipiellen Aufbau der Anordnung nach Fig. 1, jedoch aus einem anderen Blickwinkel und zusätzlich ausgestattet mit einer Einrichtung zur Vorwärmung des Ausgangsmaterials,

[0036] Fig. 3 eine Ausgestaltungsvariante der erfundungsgemäßen Anordnung, bei der das Ausgangsmaterial bzw. die Schmelzzone auf dem Ausgangsmaterial von einem Schutzraum umgeben ist,

[0037] Fig. 4 eine Ausgestaltungsvariante, bei der zur Abkühlung der Materialpartikel ein flüssiges Medium vorgesehen ist.

[0038] In Fig. 1 ist ein Ausgangsmaterial 1, hier beispielsweise Lötzinn, auf einem Tisch 2 abgelegt, der in Richtung X und in Richtung Z verstellbar ist. Der Tisch 2 ist zu diesem Zweck mit einem Antrieb gekoppelt, der seinerseits mit einer Ansteuereinrichtung in Verbindung steht (zeichnerisch nicht dargestellt). Derartige Tischantriebe und Ansteuer schaltungen sind aus dem Stand der Technik hinreichend bekannt, so daß eine nähere Beschreibung an dieser Stelle entfallen kann.

[0039] Weiterhin ist in Fig. 1 eine Laserstrahlung 3 dargestellt, die durch eine Optik 4 gebündelt auf die Oberfläche des Ausgangsmaterials 1 gerichtet ist. Es handelt sich beispielsweise um die Strahlung eines CO₂-Laser mit einer Leistung von etwa 1500 W bei einer Wellenlänge von 10,6 µm.

[0040] Damit ist die Intensität der gebündelten Laserstrahlung 3 am Auftreffort auf die Oberfläche 5 des Materials 1 groß genug, um das Ausgangsmaterial 1 dort partiell auf eine Temperatur zu erhöhen, die über der Schmelztemperatur liegt. Es bildet sich also aufgrund der Wechselwirkung der intensiven Laserstrahlung 3 mit dem Ausgangsmaterial 1 eine örtlich begrenzte flüssige Phase des Ausgangsmaterials 1.

[0041] Die Erwärmung des entsprechenden Bereiches erfolgt dabei in sehr kurzer Zeit, wobei eine zumindest teilweise Wandlung der Wärmeenergie in kinetische Energie erfolgt und Partikel des Ausgangsmaterials 1 in eine Relativbewegung zueinander geraten. Dabei werden Partikel mit entsprechend hoher kinetischer Energie aus der Oberfläche 5 ausgetrieben, d. h. sie entfernen sich von der Oberfläche 5.

[0042] Die Anordnung nach Fig. 1 weist weiterhin eine Düse 6 auf, die mit einem (zeichnerisch nicht dargestellten) Gebläse oder Druckgefäß verbunden ist und von der ein Gasstrom 7 auf den Bereich des flüssigen Ausgangsmateri als.

als 1 gerichtet ist. Das Gebläse ist beispielsweise ebenfalls mit der Ansteuerschaltung verbunden, wobei die Möglichkeit besteht, durch entsprechende Sollwertvorgaben die Geschwindigkeit des Gasstromes 7 und die Menge des pro Zeiteinheit aus der Düse 6 austretenden Gases zu beeinflussen.

[0043] Der unter einem Winkel α auf das Ausgangsmaterial 1 gerichtete Gasstrom 7 sorgt dafür, daß aus dem flüssigen Bereich des Ausgangsmaterials 1 Materialpartikel 8 ausgetrieben und in eine bevorzugte Richtung R gelenkt werden.

[0044] Dabei kann der Winkel α mit beispielsweise 45° fest eingestellt sein. Es kann aber auch eine Verstelleinrichtung zur Variation des Winkels α vorgesehen sein. Außerdem kann die Düse 6 auch noch mit einer Verstelleinrichtung verbunden sein, die ihre Verschiebung in Richtung X ermöglicht, wodurch erreicht wird, daß der Auftreffort des Gasstromes 7 relativ zum Fokus des gebündelten Laserstrahles 3 justierbar ist. Hierdurch können Gasstrom 7 und Laserstrahl 3 bedarfsweise so zueinander positioniert werden, daß das Austreiben der Materialpartikel 8 mit höchstmöglicher Ausbeute erfolgt.

[0045] Die Materialpartikel 8 entfernen sich mit hoher Geschwindigkeit in Richtung R von der Oberfläche 5 und werden dabei durch den hohen Innendruck (hohe Temperatur) und die geringe Zähigkeit in eine Vielzahl kleinerer Materialpartikel 9 aufgespalten. Die Materialpartikel 9 bewegen sich durch die kühlere Umgebungsluft hindurch, was dazu führt, daß sich die Oberflächenspannung bei den noch unregelmäßig geformten Materialpartikeln 9 schnell ändert und sich dabei kleine Hohlkugeln 10 bilden.

[0046] Zum Auffangen der Hohlkugeln 10 ist eine Prallplatte 11 vorgesehen, an welcher die Hohlkugeln 10 der Schwerkraft folgend abgleiten und in einen Sammelbehälter (zeichnerisch nicht dargestellt) gelangen.

[0047] Die Prallplatte 11 kann hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften elastisch ausgebildet sein, so daß eine Deformation der sich eben gebildeten Hohlkugeln 10 vermieden wird. Außerdem ist es denkbar, die Temperatur der Prallplatte 11 mit Hilfe einer Kühlleinrichtung so einzustellen, so daß beim Kontakt der Hohlkugeln 10 mit der Prallplatte 11 eine weitere Abkühlung der Hohlkugeln 10 erfolgt und damit eine Formstabilisierung gegeben ist.

[0048] Besteht der Gasstrom 7 aus Luft und bewegen sich 45 die Materialpartikel 8 durch die freie Atmosphäre, welche die Anordnung umgibt, so wird bei der Umformung zu Hohlkugeln 10 Luft in das Innere der Hohlkugeln 10 eingeschlossen.

[0049] Zusätzlich kann, wie in Fig. 1 dargestellt, noch ein 50 Temperatursensor 12 vorgesehen sein, der ebenfalls mit der Ansteuereinheit verbunden ist, wobei sich die Möglichkeit ergibt, die gemessene Temperatur als Regelgröße für die Intensität der Laserstrahlung 3 und/oder für die Strömungsgeschwindigkeit des Gasstromes 7 zu verwenden.

[0050] In Fig. 2 ist die Anordnung nach Fig. 1 bei Betrachtung aus einem anderen Blickwinkel dargestellt. Hier ist der Blick auf die Oberfläche 5 gerichtet, wobei wiederum der Laserstrahl 3, die bündelnde Optik 4, die Düse 6, der Luftstrom 7 und die Materialpartikel 8, die sich in Richtung R von der Oberfläche des Ausgangsmaterials 1 entfernen, zu erkennen sind.

[0051] Die Anordnung nach Fig. 2 weist jedoch gegenüber Fig. 1 insofern eine Ergänzung auf, als hier eine zusätzliche Wärmequelle 13 in Form eines Plasmabrenners vorhanden ist. Vom Plasmabrenner 13 ist ein Plasmastrahl 14 zusätzlich auf den Bereich auf der Oberfläche 5 gerichtet, indem das Ausgangsmaterial 1 über die Schmelztemperatur erhitzt werden soll.

[0052] Damit wird erreicht, daß dem Haupterwärmungsprozeß mittels des Laserstrahls 3 eine Vorwärmung durch den Plasmastrahl 14 vorgeordnet ist. So wird die Temperaturdifferenz verringert, die mittels Laserstrahlung 3 zu überwinden ist, um die materialspezifische Schmelztemperatur möglichst sprunghaft zu erreichen bzw. zu überschreiten. So wird der Energieeintrag in den betreffenden Oberflächenabschnitt und damit auch der Austreibungsprozeß intensiviert.

[0053] In Fig. 3 ist eine Ausführungsvariante der Anordnung dargestellt, bei welcher der Prozeß der Austreibung der Materialpartikel 8 aus der Flüssigphase des Ausgangsmaterials 1 unter einer Schutzgasatmosphäre stattfindet. Zu diesem Zweck sind die wesentlichen Anordnungsbestandteile, wie Ausgangsmaterial 1, Tisch 2, Laserstrahl 3, bündelnde Optik 4, Düse 6 von einem Gehäuse 15 umschlossen. Die bereits oben beschriebenen Verfahrensschritte finden nun innerhalb des von dem Gehäuse 15 umschlossenen Raumes statt, wobei als Schutzgas beispielsweise Stickstoff vorgesehen ist.

[0054] Das Schutzgas tritt dabei durch die Düse 6 aus. Der in diesem Falle aus Schutzgas gebildete Gasstrom 7 wird sowohl zum Austreiben der Materialpartikel 8 genutzt als auch bei der Ausbildung der Hohlkugeln 10 in entsprechender Menge in deren Hohlraum eingeschlossen. Die in der oben geschilderten Weise entstehenden Hohlkugeln 10 treten durch eine im Gehäuse 15 vorgesehene Öffnung 16 aus dem Schutzraum aus und gelangen von dort in einen Sammelbehälter (zeichnerisch nicht dargestellt).

[0055] Eine Besonderheit bei dieser Anordnung kann beispielsweise noch darin bestehen, daß eine Zuführeinrichtung 17 für ein Beschichtungswerkstoff 18 vorhanden ist, der bei entsprechender Ausrichtung einer Austrittsdüse 19 mit den soeben entstandenen Hohlkugeln 10 in Kontakt gebracht wird und der sich dabei auf der Außenfläche der Hohlkugeln 10 absetzt. Als Beschichtungswerkstoff 18 kommt beispielsweise Stellitpulver in Betracht.

[0056] Auf diese Weise entstehen Hohlkugeln 10, die im Inneren mit dem Schutzgas gefüllt sind und an ihrer Außenfläche eine Beschichtung aufweisen.

[0057] Bei einer weiteren in Fig. 4 dargestellten Anordnung, mit der sich die erfundungsgemäßen Verfahrensschritte ebenfalls ausführen lassen, ist eine Ringdüse 20 konzentrisch zum Laserstrahl 3 angeordnet, durch die der Gasstrom 7 austritt und gleichmäßig um den Laserstrahl 3 verteilt auf den zu erwärmenden Oberflächenabschnitt trifft.

[0058] Hier sind die bündelnde Optik 4 und die Ringdüse 20 gemeinsam in den Richtungen X und Y relativ zum Tisch 2 bzw. dem Ausgangsmaterial 1 verschiebar. Die hierbei ausgetriebenen Materialpartikel 8 fallen der Schwerkraft folgend in eine Flüssigkeit 21, beispielsweise ein Lotflußmittel, mit einer Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur des Ausgangsmaterials 1.

[0059] Beim Eintauchen der Materialpartikel 8 in die Flüssigkeit 21 vollzieht sich die Umformung zu Hohlkugeln 10 wiederum aufgrund der mit der plötzlichen Absenkung der Temperatur einhergehenden Veränderung der Oberflächenspannung, wobei in diesem Falle die Flüssigkeit in das Innere der Hohlkugeln 10 eingeschlossen wird. Auf diese Weise lassen sich beispielsweise vorteilhaft "Lötzinkkugeln" mit eingeschlossenem Lotflußmittel herstellen, die bei automatischen Lötprozessen Verwendung finden können.

Bezugszeichenliste

- 1 Ausgangsmaterial
- 2 Tisch
- 3 Laserstrahl
- 4 Optik

- 5 Oberfläche
- 6 Düse
- 7 Gasstrom
- 8, 9 Materialpartikel
- 10 Hohlkugeln
- 11 Prallplatte
- 12 Temperatursensor
- 13 Wärmequelle
- 14 Plasmastrahl
- 15 Gehäuse
- 16 Öffnung
- 17 Zuführeinrichtung
- 18 Beschichtungswerkstoff
- 19 Austrittsdüse
- 20 Ringdüse
- 21 Flüssigkeit
- R, X, Y, Z Richtungen

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Hohlkugeln aus einem schmelzbaren Material, bei dem
 - das in einer Ausgangsform vorliegende schmelzbare Material an einem Oberflächenbereich bis über seine Schmelztemperatur hinaus erwärmt wird,
 - mit einem auf diesen Oberflächenbereich gerichteten Gasstrom (7) eine Vielzahl von geschmolzenen Materialpartikeln (8, 9) ausgetrieben wird,
 - die sich von dem Oberflächenbereich entfernenden Materialpartikel (8, 9) mit einem Medium in Kontakt gebracht werden, das eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur des Materials aufweist und dadurch die Temperatur der Materialpartikel (8, 9) schnell abgesenkt wird,
 - mit der schnellen Temperaturabsenkung die Oberflächenspannung der Materialpartikel (8, 9) so verändert wird, daß diese sich zu Hohlkugeln (10) formen und dabei Teile des Mediums in ihr Inneres einschließen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Erwärmung bis über die Schmelztemperatur erforderliche Energie mit Hilfe von Laserstrahlung (3) in das Material eingebracht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Material mit einer gesonderten Wärmequelle (13) vorgewärmt wird, wobei an dem zu erwärmenden Oberflächenbereich eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur erreicht wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Material auf eine Temperatur von etwa der 0,8-fachen der Schmelztemperatur vorgewärmt wird.
5. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die sich von dem Oberflächenbereich entfernenden Materialpartikel (8, 9) mit Luft der freien Atmosphäre in Kontakt gebracht werden, wobei mit der Formung der Materialpartikel (8, 9) zu Hohlkugeln (10) eine entsprechende Menge Luft in das Innere einer jeden Hohlkugel (10) eingeschlossen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Material Stahl mit einer Schmelztemperatur bei etwa 1540°C verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die sich von dem Oberflächenbereich entfernenden Materialpartikel (8, 9) mit einem Inertgas in Kontakt gebracht werden, dessen

Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur des Materials gehalten wird, wobei mit der Formung der Materialpartikel (8, 9) zu Hohlkugeln (10) eine entsprechende Menge dieses Gases in das Innere einer jeden Hohlkugel (10) eingeschlossen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die sich von dem Oberflächenbereich entfernenden Materialpartikel (8, 9) mit Stickstoff in Kontakt gebracht werden, dessen Temperatur bei etwa der 0,5-fachen der Schmelztemperatur des Materials gehalten wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die sich von dem Oberflächenbereich entfernenden Materialpartikel (8, 9) mit einem flüssigen Medium in Kontakt gebracht werden, dessen Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur des Materials gehalten wird, wobei mit der Formung der Materialpartikel (8, 9) zu Hohlkugeln (10) eine entsprechende Menge dieses Mediums in das Innere einer jeden Hohlkugel eingeschlossen wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß als schmelzbare Material Lötzinn und als flüssiges Medium ein Lotflußmittel verwendet werden und die Temperatur des Lotflußmittels bei etwa dem 0,5-fachen der Schmelztemperatur des Materials gehalten wird.

11. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die bereits zu Hohlkugeln (10) geformten und mit dem Medium gefüllten Materialpartikel (8, 9) mit einer weiteren Substanz, bevorzugt einem Pulver in Kontakt gebracht werden, wobei sich Teilchen dieser Substanz auf der Hohlkugeloberfläche absetzen und dort eine Beschichtung bilden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß als Substanz zur Beschichtung der Hohlkugeloberfläche Stellipulver verwendet wird.

13. Anordnung zur Herstellung von Hohlkugeln aus einem schmelzbaren Material, umfassend

- eine Laserstrahlungsquelle, von der ein gebündelter Laserstrahl (3) unter einem Winkel β auf einen Oberflächenbereich des in einer beliebigen Ausgangsform vorliegenden Materials gerichtet ist,
- eine mit einem Gebläse verbundene, konzentrisch zum Laserstrahl (3) ausgerichtete Ringdüse (6), von der ein Gasstrom (7) unter einem Winkel α auf den Oberflächenbereich gerichtet ist,
- einen mit einer Flüssigkeit (21) gefüllten Auffangbehälter für aus dem schmelzbaren Material ausgetriebene Materialpartikel (8) und
- eine Bedien- und Ansteuereinrichtung zur Vorwahl und Einstellung von Betriebsparametern wie Wellenlänge und Intensität des Laserstrahles (3), Geschwindigkeit des Gasstromes (7) und/oder Temperatur der Flüssigkeit (21).

14. Anordnung nach Anspruch 13, wobei als Material Lötzinn vorgesehen ist, ein CO₂-Laser mit einer Leistung von etwa 1500 W als Laserstrahlungsquelle dient und mittels der Ringdüse (6), die mit einem unter einem Druck von etwa 3 bar stehenden Druckluftbehälter in Verbindung steht, Luft unter einem Winkel $\alpha \approx 45^\circ$ auf den Auftreffort des Laserfokus gerichtet ist.

15. Anordnung nach Anspruch 14, ausgestattet mit einer Einrichtung zur Veränderung des Winkels α und/oder des Winkels β .

16. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, ausgestattet mit einer Einrichtung zum kontinuierlichen Verschieben des Materials relativ zum Auftreffort

des Laserstrahles (3) und des Gasstromes (7) auf die Materialoberfläche.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

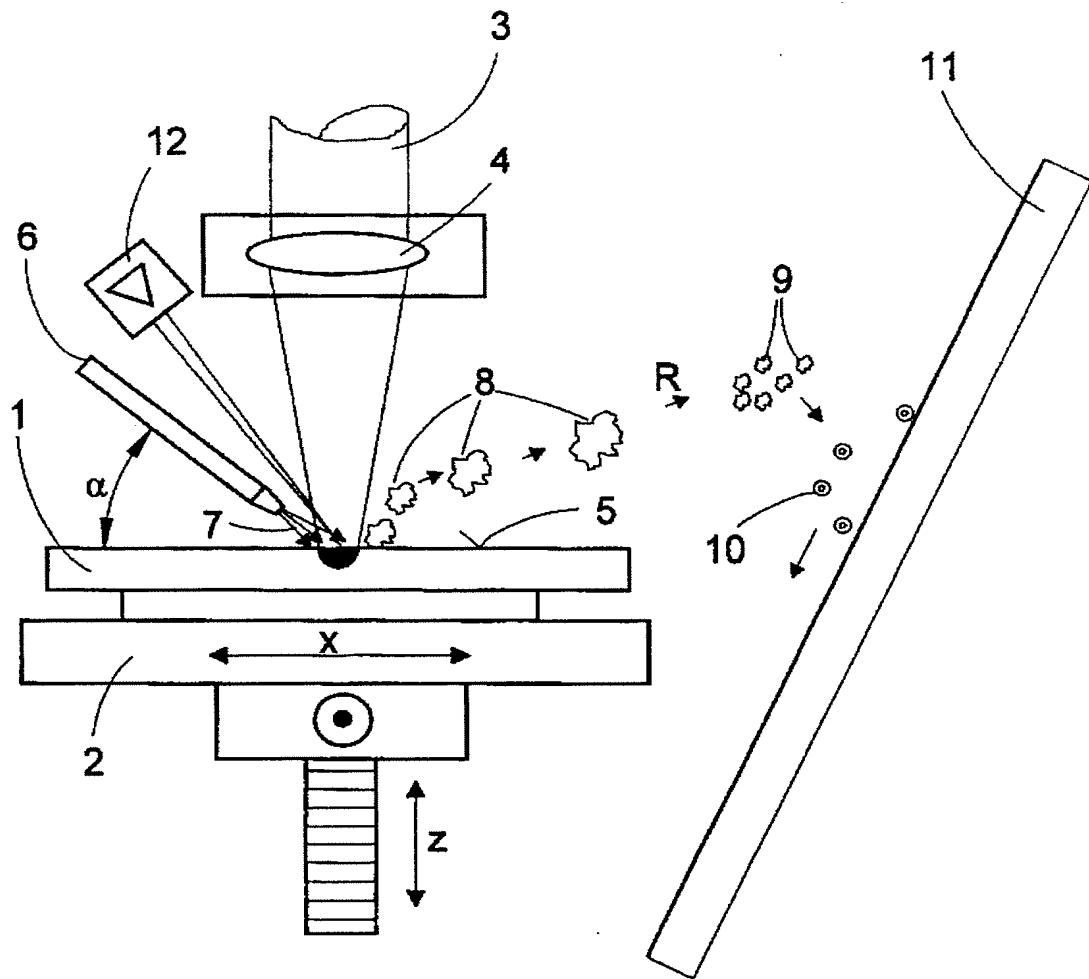


Fig. 1

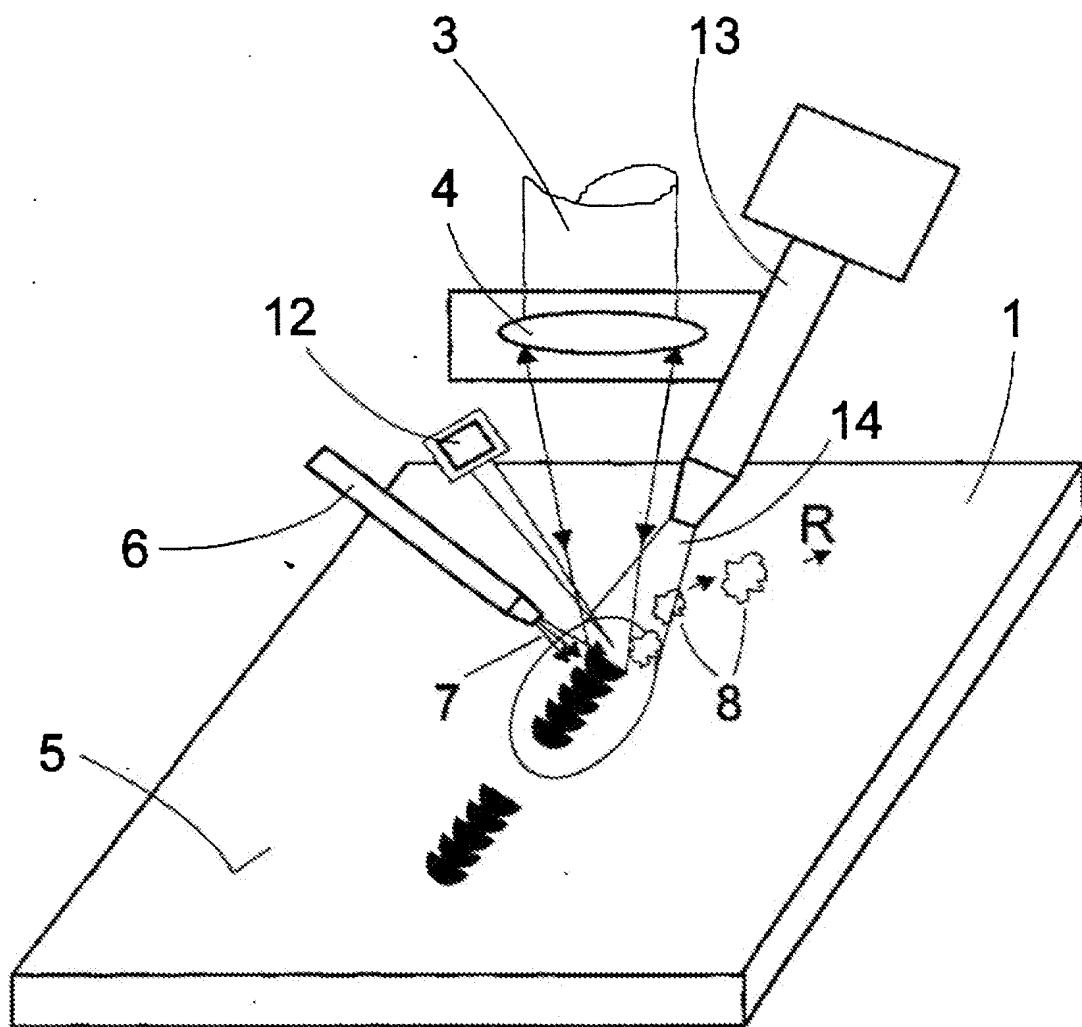


Fig.2

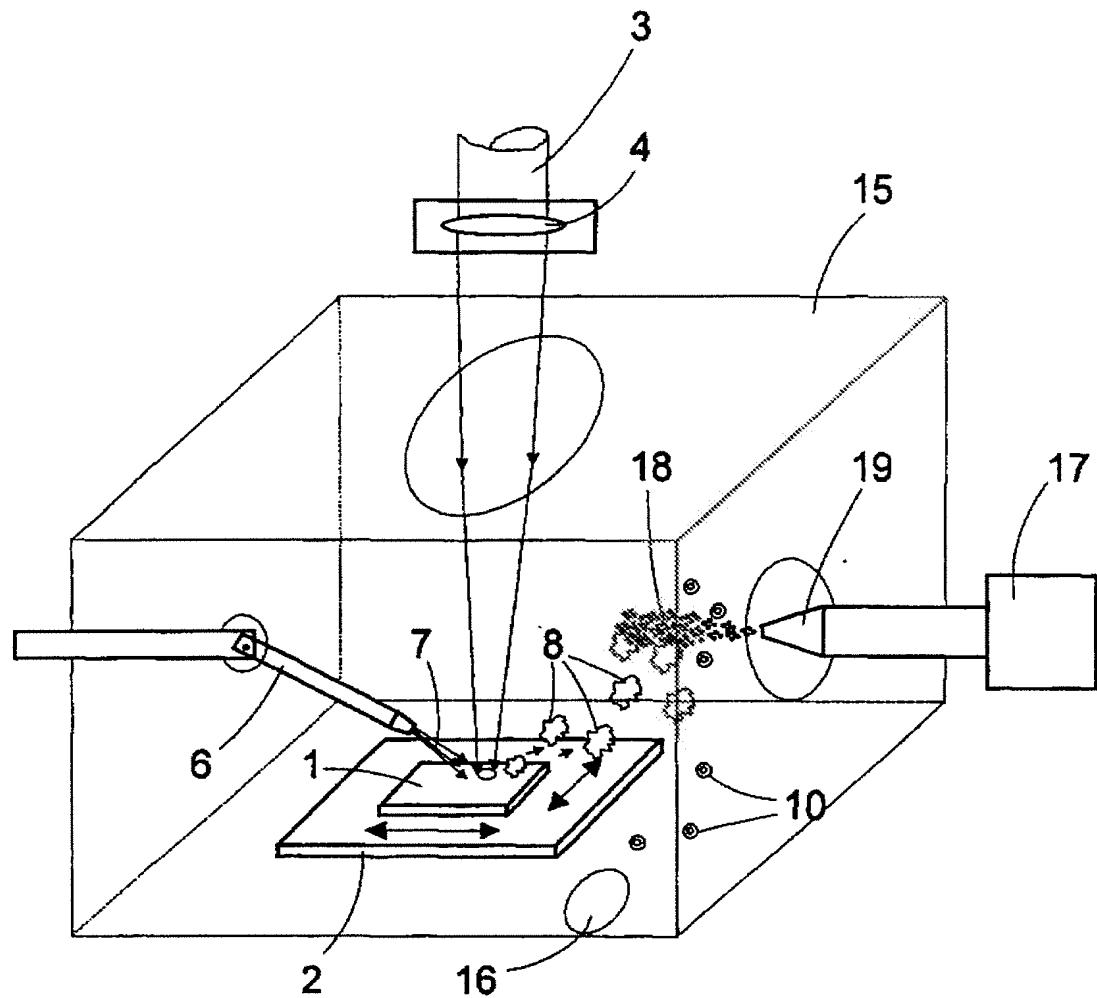


Fig.3

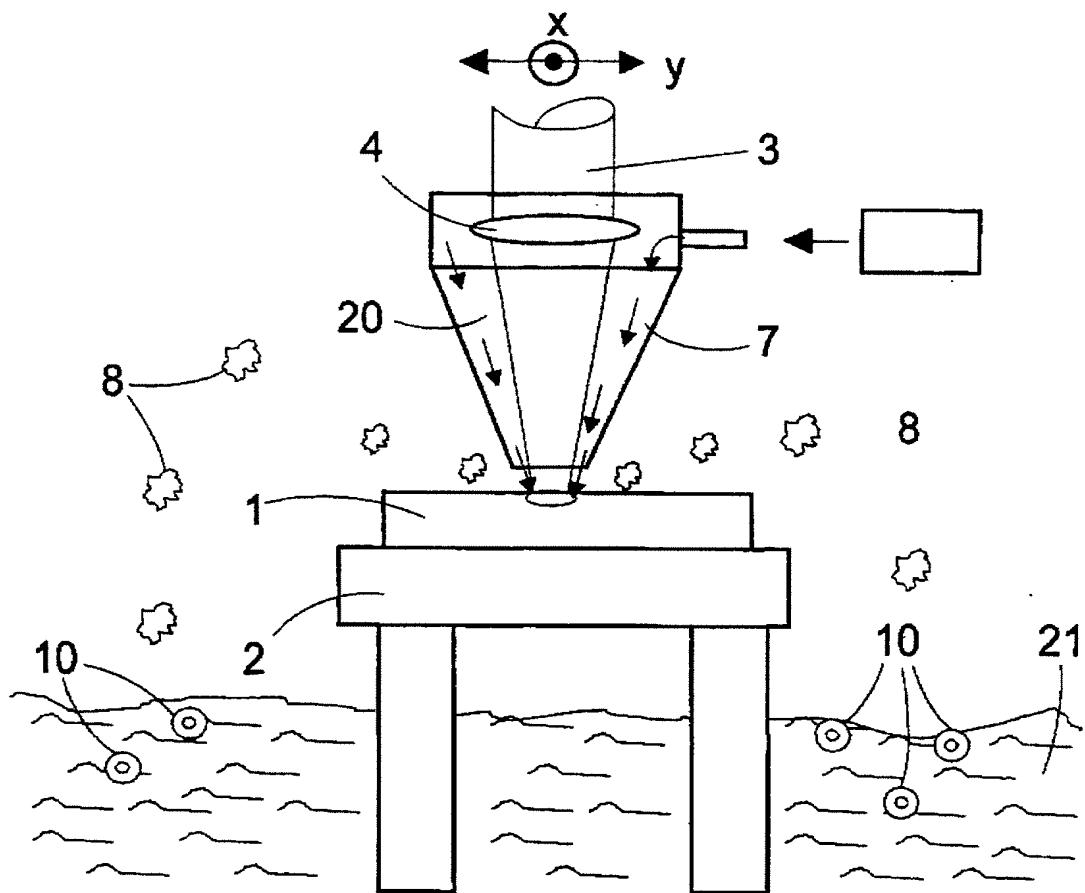


Fig.4